

**KESAN AGREGAT BERKUBIK DAN PENGUSIAAN KE ATAS
SIFAT KEJURUTERAAN KONKRIT ASFALT ACW14**

RAMADHANSYAH PUTRA JAYA

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2008

**KESAN AGREGAT BERKUBIK DAN PENGUSIAAN KE ATAS
SIFAT KEJURUTERAAN KONKRIT ASFALT ACW14**

oleh

RAMADHANSYAH PUTRA JAYA

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

MARCH 2008

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur kehadiran Allah S.W.T., penentu segalanya serta selawat dan salam kepada junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W, keluarga serta sahabat-sahabatnya.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih yang tidak terperi di ajukan kepada Prof. Madya Dr. Hj. Meor Othman Hamzah yang telah memberikan perhatian, masa, tenaga, bimbingan, dorongan dan buah fikiran dalam menyelia penyelidikan ini. Ilham dan iltizam beliau dalam memastikan penyelidikan ini berjalan lancar amat disanjung tinggi. Kesediaan beliau menyumbang tanpa mengira waktu amat di kagumi. Tidak ketinggalan penghargaan di berikan kepada Prof. Dr. Khairun Azizi Mohd Azizli selaku penyelia kedua, yang telah memberikan nasihat dan memastikan kelancaran penyelidikan ini.

Sekalung penghargaan dan terima kasih ditujukan kepada staf-staf akademik dan bukan akademik, juruteknik Makmal Lebuhraya dan Lalulintas, Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, USM, terutamanya En. Zulhairi bin Ariffin dan En. Mohd Fouzi bin Ali di atas kerjasama dan pertolongan yang diberi sepanjang menjalankan kajian di makmal. Kepada kakitangan makmal Sumber Mineral, Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan & Sumber Mineral, USM dan kuari Yen Bumi Sdn Bhd.

Penghargaan dan terima kasih juga dirakamkan untuk Universiti Sains Malaysia yang bersedia memberikan bantuan dalam bentuk geran jangka pendek. Kepada rakan-rakan kelab Ijazah Tinggi Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam (ACEPRO), Persatuan Pelajar Aceh di Malaysia (ASC), Pemerintah Daerah Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) dan Persatuan Pelajar Indonesia Kampus Kejuruteraan (PPI_Eng),

yang terlibat membantu penyelidikan ini sama ada secara langsung mahu pun tidak langsung.

Akhir sekali, setinggi penghargaan kepada kedua ibu bapa dan adik tersayang iaitu Drs. Abdullah Aziz, M.Pd., Asiah, Amd.Pd dan Dewi Sri Jayanti, ST diatas dorongan dan sokongan mereka sepanjang pengajian Ijazah Sarjana Sains di USM. Semoga Allah sahaja dapat membalas budi yang telah dicurahkan.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xiii
SENARAI PLAT	xvii
SENARAI SINGKATAN	xviii
SENARAI LAMPIRAN	xx
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xxiii
ABSTRAK	xxiv
ABSTRACT	xxv
 BAB I : PENGENALAN	
1.0 Pengenalan	1
1.1 Objektif Kajian	4
1.2 Skop Kajian	4
1.3 Justifikasi Kajian	5
1.4 Latar Belakang Agregat Di Malaysia	6
1.5 Konkrit Asfalt	7
1.6 Mesin Penghancur Barmac	8
1.7 Organisasi Tesis	9
 BAB II : KAJIAN LITERATUR	
2.0 Pengenalan	10
2.1 Kesan Agregat Berkubik Dalam Konkrit Asfalt	12
2.2 Hubungan Antara F&E dan Prestasi Campuran	15
2.3 Ciri Reka Bentuk Campuran	17
2.3.1 Penggredan	17
2.4 Ciri dan Sifat Agregat	18
2.4.1 Kekuatan dan Ketahananlasakan Agregat	18
2.4.2 Bentuk Butiran Agregat	18
2.4.3 Ciri Fizikal Agregat	20

2.5	Bahan Pengikat dan Cirinya	21
2.5.1	Pengikat Terpinda (SBS) Dalam Konkrit Asfalt	22
2.6	Sifat Mekanikal Konkrit Asfalt	24
2.6.1	Kesan Agregat Berkubik Terhadap Kestabilan Marshall	24
2.6.2	Kesan Modulus Kebingkasannya Terhadap Konkrit Asfalt	28
2.6.3	Rayapan Dinamik	30
2.6.4	Kekuatan Tegangan Tak Langsung	33
2.7	Kesan Suhu Terhadap Sifat Kejuruteraan Konkrit Asfalt	35
2.8	Kesan Pengusiaan Terhadap Sifat Kejuruteraan Konkrit Asfalt	37
2.9	Kesan Sinar Ultra-ungu Dalam Pengusiaan	41
2.10	Ringkasan	43

BAB III : BAHAN DAN METODOLOGI KAJIAN

3.0	Pengenalan	44
3.1	Ciri Agregat	44
3.2	Jenis Agregat	44
3.3	Prinsip Penghancuran	46
3.4	Mekanisme Penghasilan Agregat Berkubik	47
3.5	Penamaan Agregat	48
3.6	Ujian Agregat	49
3.6.1	Ujian Penggredan Agregat	49
3.6.2	Ujian Graviti Tentu dan Penyerapan Air	50
3.6.3	Ujian Indeks Kekepingan dan Indeks Pemanjangan	50
3.6.3.1	Indeks Kekepingan	51
3.6.3.1	Indeks Pemanjangan	52
3.6.4	Ujian Nilai Hentaman Agregat	54
3.6.5	Ujian Pecahan Agregat	56
3.7	Bitumen	57
3.8	Penamaan Bitumen	58
3.9	Ujian Bitumen	58
3.9.1	Ujian Penusukan Piawai	59
3.9.2	Ujian Titik Lembut – Kaedah Cincin dan Bola	59
3.9.3	Ujian Kemuluran	60
3.10	Bahan Pengisi	61
3.11	Ringkasan	61

BAB IV : PENYEDIAAN SPESIMEN DAN PERALATAN

4.0	Pengenalan	62
4.1	Penamaan Spesimen Konkrit Asfalt	62
4.2	Pemilihan Agregat	63
4.3	Penyediaan Bitumen	63
4.4	Penyediaan Bekas	64
4.5	Pencampuran	64
4.6	Pemadatan Spesimen Dengan Pemadat Marshall	64
4.7	Ujian-Ujian Ke Atas Spesimen	65
4.7.1	Ujian Kestabilan dan Aliran	65
4.7.2	Penentuan Graviti Tentu Teori Maksimum Campuran	65
4.7.3	Ujian Modulus Kebingkasan	67
4.7.4	Ujian Rayapan Dinamik	69
4.7.5	Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung	71
4.8	Pengusiaan Campuran Bitumen	73
4.8.1	Pengusiaan Jangka Pendek	74
4.8.2	Pengusiaan Jangka Panjang	75
4.9	Ringkasan	77

BAB V : CIRI BAHAN DAN REKA BENTUK CAMPURAN

5.0	Pengenalan	78
5.1	Sifat Agregat	78
5.1.1	Graviti Tentu dan Penyerapan Air	78
5.1.2	Nilai Hentaman Agregat	80
5.1.3	Nilai Pecahan Agregat	81
5.1.4	Indeks Kekepingan	82
5.1.5	Indeks Pemanjangan	83
5.2	Sifat Bitumen	85
5.2.1	Penusukan Piawai	85
5.2.2	Titik Lembut Bitumen	85
5.2.3	Kemuluran Bitumen	86
5.2.4	Ketumpatan Nisbi	86
5.3	Reka Bentuk Penggredan Agregat	87
5.4	Penentuan Kandungan Bitumen Optimum	88

5.4.1	Kestabilan	88
5.4.2	Berat Unit	91
5.4.3	Lompang Dalam Campuran	92
5.4.4	Lompang Dalam Agregat Galian	94
5.4.5	Modulus Kebingkasakan	96
5.4.6	Aliran	98
5.4.7	Lompang Terisi Bitumen	99
5.4.8	Kandungan Bitumen Optimum	101
5.5	Perbandingan Keputusan	101
5.6	Ringkasan	103

BAB VI : ANALISIS KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

6.0	Pengenalan	104
6.1	Modulus Kebingkasakan	104
6.1.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	106
6.1.2	Kesan Suhu	106
6.1.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Bitumen	107
6.1.4	Kehubungan di Antara Modulus Kebingkasakan Melawan Keliangan	108
6.2	Rayapan Dinamik	109
6.2.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	111
6.2.2	Kesan Suhu	112
6.2.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Bitumen	112
6.2.4	Kehubungan Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan	113
6.2.5	Logaritma Terikan Kumulatif Melawan Logaritma Masa Pembebanan	115
6.2.6	Kehubungan di Antara Rayapan Dinamik Melawan Ketumpatan	118
6.3	Kekuatan Tegangan Tak Langsung	120
6.3.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	121
6.3.2	Kehubungan di Antara Kekuatan Tegangan Tak Lansung Melawan Ketumpatan	122
6.4	Pengusiaan	123

6.5	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Terhadap Modulus Kembang-kempasan	123
6.5.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	125
6.5.2	Kesan Suhu	125
6.5.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Bitumen	126
6.6	Kesan Pengusiaan Jangka Panjang Terhadap Modulus Kembang-kempasan	127
6.6.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	128
6.6.2	Kesan Suhu	129
6.6.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Campuran Bitumen	130
6.7	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Melawan Pengusiaan Jangka Panjang	131
6.8	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Terhadap Rayapan Dinamik	133
6.8.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	134
6.8.2	Kesan Suhu	135
6.8.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Bitumen	135
6.8.4	Kehubungan Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan	136
6.8.5	Logaritma Terikan Kumulatif Melawan Logaritma Masa Pembebanan	139
6.9	Kesan Pengusiaan Jangka Panjang Terhadap Rayapan Dinamik	142
6.9.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	144
6.9.2	Kesan Suhu	144
6.9.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Bitumen	145
6.9.4	Kehubungan Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan	146
6.9.5	Logaritma Terikan Kumulatif Melawan Logaritma Masa Pembebanan	148
6.10	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Melawan Pengusiaan Jangka Panjang	152
6.11	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung	153
6.11.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	155

6.12	Kesan Pengusiaan Jangka Panjang Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung	156
6.12.1	Kesan Penggunaan Jenis Bitumen	157
6.13	Kesan Pengusiaan Jangka Pendek Melawan Pengusiaan Jangka Panjang	158
6.14	Perbandingan Hasil Kajian	159
6.14.1	Modulus Kembangsan	159
6.14.2	Rayapan Dinamik	161
6.14.3	Pengusiaan Jangka Pendek	161
6.14.4	Pengusiaan Jangka Panjang	162
6.15	Ringkasan	164

BAB VII : KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.0	Kesimpulan	165
7.1	Cadangan Kajian Masa Hadapan	169

SENARAI RUJUKAN	171
------------------------	------------

LAMPIRAN

Lampiran A Keputusan Ujian Kestabilan Marshall dan Aliran	180
Lampiran B Keputusan Ujian Modulus Kembangsan	185
Lampiran C Keputusan Ujian Rayapan Dinamik	193
Lampiran D Keputusan Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung	201

SENARAI JADUAL

	Muka surat
Jadual 1.1 Jenis Kemalangan di Jalan Raya	2
Jadual 1.2 Peruntukan Untuk Pembangunan Jalan	2
Jadual 2.1 Nisbah F&E dan Keputusan Ciri-Ciri Campuran	17
Jadual 2.2 Takrifan Agregat Berbentuk Berdasarkan Pemprosesan Bayangan Digit (DIP)	20
Jadual 2.3 Ciri-ciri Agregat Menurut JKR 1988	21
Jadual 2.4 Spesifikasi Bahan Berbitumen Menurut JKR	22
Jadual 2.5 Ciri Kestabilan Marshall	25
Jadual 2.6 Kestabilan Marshall dan Kandungan Bitumen Optimum	26
Jadual 2.7 Modulus Kembang-kempis Pada Suhu 20°C dan 40°C Bagi Pengujian Jangka Pendek	40
Jadual 2.8 Modulus Kembang-kempis Pada Suhu 20°C dan 40°C Bagi Pengujian Jangka Panjang	41
Jadual 3.1 Penamaan Agregat	48
Jadual 3.2 Susunan Bukakan Saiz Ayak dan Lebar Lubang Tolok Untuk Ujian Indeks Kekepingan	51
Jadual 3.3 Susunan Bukakan Saiz Ayak dan Lebar Lubang Tolok Untuk Ujian Indeks Pemanjangan	53
Jadual 3.4 Penamaan Jenis Bitumen	58
Jadual 3.5 Kaedah Ujian Terhadap Bitumen Konvensional 80/100 dan Bitumen Terpinda SBS	59
Jadual 4.1 Penamaan Spesimen Konkrit Asfalt	62
Jadual 4.2 Penamaan Spesimen Konkrit Asphalt yang Melalui Proses Pengujian	62
Jadual 4.3 Suhu Pencampuran dan Pemadatan Dalam Kajian Ini	63
Jadual 4.4 Ringkasan Parameter Ujian Modulus Kembang-kempis	68
Jadual 4.5 Ringkasan Parameter Ujian Rayapan Dinamik	70
Jadual 4.6 Jenis Pengujian dan Suhu Pengujian	73

Jadual 5.1	Keputusan Ujian Graviti Tentu dan Penyerapan Air Agregat I	79
Jadual 5.2	Keputusan Ujian Graviti Tentu dan Penyerapan Air Agregat C	80
Jadual 5.3	Keputusan Ujian Penusukan Piawai	85
Jadual 5.4	Keputusan Ujian Titik Lembut	86
Jadual 5.5	Keputusan Ujian Kemuluran	86
Jadual 5.6	Ciri Bahan Pengikat 80/100	87
Jadual 5.7	Penggredan yang digunakan dalam kajian	87
Jadual 5.8	Kandungan Bitumen Optimum Konkrit Asfalt ACW14	101
Jadual 5.9	Perbandingan Keputusan Reka Bentuk Campuran Bitumen 80/100 Konkrit asfalt ACW14 dengan Spesifikasi JKR 1988	102
Jadual 5.10	Perbandingan Keputusan Reka Bentuk Campuran Bitumen SBS Konkrit Asfalt ACW14 dengan Spesifikasi JKR 1988	102
Jadual 6.1	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasakan Pada Suhu 25°C dan 40°C	107
Jadual 6.2	Persamaan Lelurus dan Nilai Regresi Untuk Modulus Kebingkasakan	109
Jadual 6.3	Keputusan Ujian Rayapan Dinamik Pada Suhu 40°C dan 60°C	112
Jadual 6.4	Perbandingan Nilai Pekali Garisan Lelurus Antara Log Terikan Kumulatif dan Log Masa Pembebanan Bagi Cerun Utama, Cerun Sekunder dan Cerun Tunggal	118
Jadual 6.5	Persamaan Lelurus dan Nilai Regresi Untuk Rayapan Dinamik	119
Jadual 6.6	Persamaan Lelurus dan Nilai Regresi Untuk ITS	123
Jadual 6.7	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasakan Pada Suhu 25°C dan 40°C Setelah Pengusuaan Jangka Pendek	126
Jadual 6.8	Peratusan Penurunan Modulus Kebingkasakan Pada 25°C dan suhu 40°C Setelah Pengusuaan Jangka Pendek	127
Jadual 6.9	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasakan Pengusuaan Jangka Panjang Pada Suhu 25°C dan 40°C	130
Jadual 6.10	Peratusan Penurunan Modulus Kebingkasakan Pada 25°C dan suhu 40°C Setelah Pengusuaan Jangka Panjang	131
Jadual 6.11	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasakan Pada Suhu 25°C dan 40°C Setelah Pengusuaan Jangka Pendek dan Jangka Panjang	132

Jadual 6.12	Peratusan Penurunan Nilai Modulus Kembang-kempaan Pada Suhu 25°C dan 40°C Setelah Pengujian Jangka Pendek dan Jangka Panjang	132
Jadual 6.13	Keputusan Ujian Rayapan Dinamik Pada Suhu 25°C dan 40°C Setelah Pengujian Jangka Pendek	135
Jadual 6.14	Peratusan Penurunan Rayapan Dinamik Pada 40°C dan suhu 60°C Setelah Pengujian Jangka Pendek	136
Jadual 6.15	Peratusan Penurunan Terikan Kumulatif Pada Suhu 40°C dan suhu 60°C Setelah Pengujian Jangka Pendek	137
Jadual 6.16	Keputusan Terikan Kumulatif Pada Suhu 40°C dan suhu 60°C Setelah Pengujian Jangka Pendek	138
Jadual 6.17	Perbandingan Nilai Pekali Garisan Lelurus Antara Log Terikan Kumulatif dan Log Masa Pembebanan Bagi Cerun Utama, Cerun Sekunder dan Cerun Tunggal	142
Jadual 6.18	Keputusan Ujian Rayapan Dinamik Pengujian Jangka Panjang Pada Suhu 40°C dan 60°C	145
Jadual 6.19	Perbandingan Penurunan Nilai Kekukuhan Rayapan Sebelum dan Setelah Pengujian Jangka Panjang Pada Suhu 40°C dan 60°C	146
Jadual 6.20	Perbandingan Nilai Pekali Garisan Lelurus Antara Log Terikan Kumulatif dan Log Masa Pembebanan Bagi Cerun Utama, Cerun Sekunder dan Cerun Tunggal	151
Jadual 6.21	Keputusan Ujian Rayapan Dinamik Pada Suhu 40°C dan 60°C Setelah Pengujian Jangka Pendek dan Jangka Panjang	153
Jadual 6.22	Peratusan Penurunan Nilai Rayapan Dinamik Dari Suhu 40°C Ke suhu 60°C Setelah Pengujian Jangka Pendek dan Jangka Panjang	153
Jadual 6.23	Perbandingan Keputusan Ujian ITS Tak Diusia dengan Pengujian Jangka Panjang	158
Jadual 6.24	Perbandingan Keputusan Ujian ITS Pengujian Jangka Pendek dengan Pengujian Jangka Panjang	159
Jadual 6.25	Perbandingan Keputusan Kajian Dengan Pengkaji Lain	160
Jadual 6.26	Perbandingan Keputusan Modulus Kembang-kempaan (MPa) Pengujian Jangka Pendek Dengan Penyelidik Lain	162
Jadual 6.27	Perbandingan Keputusan Modulus Kembang-kempaan kaedah Pengujian Jangka Pendek Dengan Abdullahi (2007)	163

SENARAI RAJAH

	Muka surat
Rajah 1.1	Agregat yang dihasilkan di Malaysia 7
Rajah 2.1	Komponen Agregat Berbentuk; Bentuk, Kesegian dan Tekstur 11
Rajah 2.2	Kehubungan Antara Agregat Kasar Terhancur Dengan Kekukuhan Konkrit Asfalt 13
Rajah 2.3	Agregat Berbagai Bentuk Menurut BS 812: Part 2. 1975 19
Rajah 2.4	Kepekatan SBS Melawan Titik Lembut 23
Rajah 2.5	Hubungan Antara Modulus Kembang-kempis dan Kandungan Agregat Berkeping 29
Rajah 2.6	Kehubungan Antara Modulus Kembang-kempis dan Agregat Kesegian 30
Rajah 2.7	Graf Kehubungan Antara Terikan Kekal dan Masa Pembebanan 32
Rajah 2.8	Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan 33
Rajah 2.9	Pembebanan Ke Atas Spesimen Sehingga Berlakunya Kegagalan 34
Rajah 2.10	Kesan Bentuk Agregat Terhadap Kekuatan Tegangan Tak Langsung 35
Rajah 2.11	Modulus Kembang-kempis Melawan Suhu (Arshad dan Abdul Rahman, 2007) 36
Rajah 2.12	Modulus Kembang-kempis Melawan Suhu (Kamal at el, 2005) 37
Rajah 2.13	Keputusan Modulus Kembang-kempis Bagi Pengusiran Campuran Bitumen 80/100 dan Bitumen SBS Pada Suhu 40°C 43
Rajah 3.1	Carta Alir Metodologi Kajian 45
Rajah 3.2	Penggredan Agregat Yang Digunakan Dalam Kajian 50
Rajah 5.1	Perbandingan Nilai AIV Agregat Ketaksekataan dan Agregat Berkubik 81
Rajah 5.2	Perbandingan ACV Agregat Ketaksekataan dan Agregat Berkubik 82
Rajah 5.3	Perbandingan Nilai Indeks Kekepingan Agregat Ketaksekataan dan Agregat Berkubik 83

Rajah 5.4	Perbandingan Nilai Indeks Pemanjangan Agregat Ketaksekataan dan Agregat Berkubik	84
Rajah 5.5	Graf Kestabilan Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	90
Rajah 5.6	Graf Kestabilan Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	90
Rajah 5.7	Graf Berat Unit Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	91
Rajah 5.8	Graf Berat Unit Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	92
Rajah 5.9	Graf Lompang Dalam Campuran Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	93
Rajah 5.10	Graf Lompang Dalam Campuran Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	94
Rajah 5.11	Graf Lompang Dalam Agregat Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	95
Rajah 5.12	Graf Lompang Dalam Agregat Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	95
Rajah 5.13	Graf Modulus Kebingkasian Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	97
Rajah 5.14	Graf Modulus Kebingkasian Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	97
Rajah 5.15	Graf Aliran Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	98
Rajah 5.16	Graf Aliran Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	99
Rajah 5.17	Graf Lompang Terisi Bitumen Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen 80/100)	100
Rajah 5.18	Graf Lompang Terisi Bitumen Lawan Kandungan Bitumen (Campuran Bitumen SBS)	100
Rajah 6.1	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasian Campuran Bitumen 80/100	105
Rajah 6.2	Keputusan Ujian Modulus Kebingkasian Campuran Bitumen SBS	105
Rajah 6.3	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Campuran Bitumen	108

Rajah 6.4	Kehubungan Modulus Kembang-kempaan Melawan Lompang Campuran	109
Rajah 6.5	Keputusan Rayapan Dinamik Campuran Bitumen 80/100	110
Rajah 6.6	Keputusan Rayapan Dinamik Campuran Bitumen SBS	111
Rajah 6.7	Kesan Perubahan Suhu Terhadap Jenis Campuran Bitumen	113
Rajah 6.8	Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan Pada Suhu 40°C	114
Rajah 6.9	Terikan Kumulatif Melawan Masa Pembebanan Pada Suhu 60°C	115
Rajah 6.10	Graf Cerun Utama dan Cerun Sekunder Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada 40°C	117
Rajah 6.11	Graf Cerun Utama dan Cerun Sekunder Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada 60°C	117
Rajah 6.12	Graf Kehubungan Rayapan Dinamik Melawan Berat unit	119
Rajah 6.13	Keputusan Kekuatan Tegangan Tak Langsung Campuran Bitumen 80/100	120
Rajah 6.14	Keputusan Kekuatan Tegangan Tak Langsung Campuran Bitumen SBS	121
Rajah 6.15	Kehubungan Antara Kekuatan Tegangan Tak Langsung Melawan Ketumpatan	122
Rajah 6.16	Keputusan Modulus Kembang-kempaan Setelah Pengusuaan Jangka Pendek Campuran Bitumen 80/100	124
Rajah 6.17	Keputusan Modulus Kembang-kempaan Pengusuaan Jangka Pendek Campuran Bitumen SBS	124
Rajah 6.18	Keputusan Modulus Kembang-kempaan Pengusuaan Jangka Panjang	128
Rajah 6.19	Keputusan Ujian Rayapan Dinamik Pengusuaan Jangka Pendek Campuran Bitumen 80/100	133
Rajah 6.20	Keputusan Rayapan Dinamik Pengusuaan Jangka Pendek Campuran Bitumen SBS	134
Rajah 6.21	Terikan Kumulatif melawan Masa Pembebanan Bagi Pengusuaan Jangka Pendek Pada Suhu 40°C	138
Rajah 6.22	Terikan Kumulatif melawan Masa Pembebanan Bagi Pengusuaan Jangka Pendek Pada Suhu 60°C	139
Rajah 6.23	Graf Cerun Utama dan Cerun Sekunder Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada Suhu 40°C	141

Rajah 6.24	Graf Cerun Utama dan Cerun Sekunder Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada Suhu 60°C	141
Rajah 6.25	Keputusan Rayapan Dinamik Pengusiaan Jangka Panjang	143
Rajah 6.26	Terikan Kumulatif melawan Masa Pembebanan Bagi Pengusiaan Jangka Panjang Pada Suhu 40°C	147
Rajah 6.27	Terikan Kumulatif melawan Masa Pembebanan Bagi Pengusiaan Jangka Panjang Pada Suhu 60°C	148
Rajah 6.28	Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada Suhu 40°C	150
Rajah 6.29	Log-Terikan Kumulatif Melawan Log-Masa Pembebanan Pada Suhu 60°C	150
Rajah 6.30	Keputusan Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung Pengusiaan Jangka Pendek Campuran Bitumen 80/100	154
Rajah 6.31	Keputusan Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung Pengusiaan Jangka Pendek Campuran Bitumen SBS	155
Rajah 6.32	Keputusan Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung Pengusiaan Jangka Panjang	157

SENARAI PLAT

	Muka surat
Plat 3.1 Mesin Barmac RoR	47
Plat 3.2 Agregat Kasar Sebelum dihancurkan dan Selepas dihancurkan	48
Plat 3.3 Tolok Tebal Untuk Ujian Indeks Kekepingan	52
Plat 3.4 Tolok Panjang Untuk Penentuan Ujian Pemanjangan	54
Plat 3.5 Alat Ujian Hentaman Agregat	55
Plat 3.6 Alat Untuk Ujian Pecahan Agregat	57
Plat 4.1 Vakum Untuk Ujian Graviti Tentu Teori Maksimum	67
Plat 4.2 Spesimen Ujian Modulus Kebinglasan di Dalam Mesin MATTA	69
Plat 4.3 Spesimen Ujian Rayapan Dinamik di Dalam Mesin MATTA	71
Plat 4.4 Spesimen Ujian Kekuatan Tegangan Tak Langsung	72
Plat 4.5 Ketuhar Untuk Pengusiaan Jangka Pendek	75
Plat 4.6 Ketuhar Untuk Pengusiaan Jangka Panjang ditambah Sinar Ultra-Unggu	76
Plat 4.7 Spesimen Yang Telah Menjalani Pengusian Jangka Panjang	77

SENARAI SINGKATAN

PDRM	Police Diraja Malaysia
JKR	Jabatan Kerja Raya
ACW14	Asphaltic Concrete Wearing Course
SBS	Styrene-Butadiene-Styrene
OPC	Ordinary Portland Cement
OBC	Optimum Binder Content
BSI	British Standards Institution
VMA	Voids in Mineral Aggregate
VIM	Voids in Mineral
MQ	Marshall Quotient
ACV	Aggregate Crushing Value
AIV	Aggregate Impact Value
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
NMAS	Nominal Maximum Aggregate Size
VSI	Vertical Shaft Impactor
EI	Elongation Index
FI	Flakiness Index
CK	Cubical - Konvensional
IK	Irregular - Konvensional
CS	Cubical - SBS
IS	Irregular – SBS
CKS	Cubical – Konvensional – Short term ageing
IKS	Irregular – Konvensional - Short term ageing
CSS	Cubical – SBS – Short term ageing
ISS	Irregular – SBS – Short term ageing

CKL	Cubical – Konvensional – Long term ageing
IKL	Irregular – Konvensional - Long term ageing
CSL	Cubical – SBS – Long term ageing
ISL	Irregular – SBS – Long term ageing
STA	Short Term Ageing
LTA	Long Term Ageing

SENARAI LAMPIRAN

Muka surat

Jadual A1 (a)	Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen 80/100	181
Jadual A1 (b)	Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen 80/100	182
Jadual A1 (c)	Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen SBS	183
Jadual A1 (d)	Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen SBS	184
Jadual B1 (a)	Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	186
Jadual B1 (b)	Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	186
Jadual B1 (c)	Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	186
Jadual B1 (d)	Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	187
Jadual B2 (a)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	187
Jadual B2 (b)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	187
Jadual B2 (c)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	188
Jadual B2 (d)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	188
Jadual B3 (a)	STA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	188
Jadual B3 (b)	STA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	189
Jadual B3 (c)	STA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	189
Jadual B3 (d)	STA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	189
Jadual B4 (a)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	190
Jadual B4 (b)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	190
Jadual B4 (c)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	190
Jadual B4 (d)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	191
Jadual B5 (a)	LTA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	191
Jadual B5 (b)	LTA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	191

Jadual B5 (c)	LTA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	191
Jadual B5 (d)	LTA, Suhu Ujian 25°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	192
Jadual B6 (a)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	192
Jadual B6 (b)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	192
Jadual B6 (c)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	192
Jadual B6 (d)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	192
Jadual C1 (a)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	194
Jadual C1 (b)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	194
Jadual C1 (c)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	194
Jadual C1 (d)	Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	195
Jadual C2 (a)	Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	195
Jadual C2 (b)	Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	195
Jadual C2 (c)	Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	196
Jadual C2 (d)	Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	196
Jadual C3 (a)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	196
Jadual C3 (b)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	197
Jadual C3 (c)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	197
Jadual C3 (d)	STA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	197
Jadual C4 (a)	STA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	198
Jadual C4 (b)	STA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	198
Jadual C4 (c)	STA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	199
Jadual C4 (d)	STA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	199
Jadual C5 (a)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	199
Jadual C5 (b)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	199

Jadual C5 (c)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	199
Jadual C5 (d)	LTA, Suhu Ujian 40°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	200
Jadual C6 (a)	LTA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen 80/100)	200
Jadual C6 (b)	LTA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen 80/100)	200
Jadual C6 (c)	LTA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Ketaksekataan + Bitumen SBS)	200
Jadual C6 (d)	LTA, Suhu Ujian 60°C (Agregat Berkubik + Bitumen SBS)	200
Jadual D1 (a)	Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen 80/100	202
Jadual D1 (b)	Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen 80/100	202
Jadual D1 (c)	Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen SBS	203
Jadual D1 (d)	Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen SBS	203
Jadual D2 (a)	STA, Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen 80/100	204
Jadual D2 (b)	STA, Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen 80/100	204
Jadual D2 (c)	STA, Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen SBS	205
Jadual D2 (d)	STA, Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen SBS	205
Jadual D3 (a)	LTA, Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen 80/100	206
Jadual D3 (b)	LTA, Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen 80/100	206
Jadual D3 (c)	LTA, Campuran Agregat Ketaksekataan Dengan Bitumen SBS	207
Jadual D3 (d)	LTA, Campuran Agregat Berkubik Dengan Bitumen SBS	207

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

- 1.1 Ramadhansyah P.J, Hamzah M.O, Khairun Azizi M.A (2007). Effects of Geometrically Cubical Aggregate on the Indirect Tensile Strength Properties of Asphaltic Concrete. National Seminar on Civil Engineering Research (SEPKA), Universiti Teknologi Malaysia, Johor, December 2007.
- 1.2 Hamzah M.O, **Ramadhansyah P.J**, Khairun Azizi M.A (2007). *Improving Asphaltic Concrete for Pavement Wearing Courses by Incorporating Geometrically Cubical Aggregate Shape*. Malaysian Infrastructure Technology Conference 2007 (INFRATECH2007), Kedah, November 2007.
- 1.3 Mohd Fadzil A, **Ramadhansyah P.J**, Khairun Azizi M.A, Megat Azmi M.J, Tarmizi M (2007). *Effect of Geometrically Aggregates on The Engineering Properties in High Strength Concrete*. National Seminar on Materials, Mineral Resources and Polymers (MAMIP 2007), Universiti Sains Malaysia, April 2007.
- 1.4 A. Mahathir, M.A. Khairun Azizi, H. Hashim, F. X. Raphael Saravana Prakash Babu, **Ramadhansyah P.J** and Metso Minerals (2007). *Study on The Operating Conditions of Cone Crusher in The Production of Shape Aggregates*. National Seminar on Materials, Mineral Resources and Polymers (MAMIP 2007), Universiti Sains Malaysia, April 2007.
- 1.5 Raphael Saravana Prakash Babu F. X, Hashim H, Khairun Azizi M.A, Mahathir A, Meor Othman H, **Ramadhansyah P.J** and Metso Minerals (2007). *Enhance The Property of Granite Aggregate Through Metso Barmac Rock on Rock Vertical Shaft Impact (RoR VSI) crushing*. National Seminar on Materials, Mineral Resources and Polymers (MAMIP 2007), Universiti Sains Malaysia, April 2007
- 1.6 Hamzah M.O, **Ramadhansyah P.J**, Khairun Azizi M.A, Mahathir A, Raphael Saravana Parakash Babu F. X (2007). *Effects of Aggregate Shape and Binder Types on The Marshall Properties of Asphaltic Concrete*. National Seminar on Materials, Mineral Resources and Polymers (MAMIP 2007), Universiti Sains Malaysia, April 2007.
- 1.7 Hamzah M.O, **Ramadhansyah P.J**, Khairun Azizi M.A (2006). *Effects of Temperature and Binder Types on Resilient Modulus of Asphaltic Concrete*. National Seminar on Civil Engineering Research (SEPKA), Universiti Teknologi Malaysia, Johor, December 2006.
- 1.8 **Ramadhansyah P.J**, Hamzah M.O, Khairun Azizi M.A (2006). *Studies on Asphalt Aggregates for Mixture Design*, Proceedings of 1st Civil Engineering Colloquium 2006. Universiti Sains Malaysia, December 2006.

KESAN AGREGAT BERKUBIK DAN PENGUSIAAN KE ATAS SIFAT KEJURUTERAAN KONKRIT ASFALT ACW14

ABSTRAK

Dalam industri pembinaan jalan raya yang semakin pesat membangun, permintaan ke atas agregat sebagai bahan binaan semakin meningkat. Sifat agregat memberi kesan yang signifikan ke atas ciri-ciri konkrit asfalt memandangkan hampir 90% campuran asfalt terdiri daripada agregat. Dalam kajian ini, agregat berkubik yang digunakan diproses melalui mesin penghancur batu ke batu (Barmac) manakala agregat ketaksekataan dihasilkan langsung daripada kuari. Matlamat kajian ini adalah merekabentuk campuran konkrit asfalt ACW14 menurut spesifikasi JKR dengan menggunakan agregat berkubik dan agregat ketaksekataan. Selain itu, mengkaji kesan pengusiaan terhadap sifat konkrit asfalt seperti modulus kebingkasan, rayapan dinamik dan kekuatan tegangan tak langsung. Dua jenis bahan pengikat telah digunakan iaitu bahan pengikat konvensional 80/100 dan bitumen terubahsuai *styrene butadiene styrene* (SBS). Berdasarkan sifat campuran yang diperolehi, semua campuran berbitumen yang menggunakan agregat berkubik memperlihatkan peningkatan sifat yang ketara berbanding campuran agregat ketaksekataan. Namun begitu, pengusiaan jangka pendek dan pengusiaan jangka panjang yang ditambahkan sinar ultra-ungu di dalam ketuhar juga menunjukkan peningkatan nilai modulus kebingkasan, rayapan dinamik dan kekuatan tegangan tak langsung berbanding campuran tak diusiakan. Keputusan juga menunjukkan bahawa nilai modulus kebingkasan dan kekukuhan rayapan menurun dengan meningkatnya suhu. Sebagai contoh, nilai modulus kebingkasan campuran bitumen 80/100 menurun di antara 60.7% hingga 73.0% manakala penurunan untuk campuran bitumen SBS ialah di antara 62.7% hingga 75.6% pada suhu 25°C ke 40°C. Analisis kajian juga menunjukkan bahawa bitumen terubahsuai lebih mampu merintang kesan negatif sebagai akibat suhu yang tinggi dan memperlihatkan potensi yang baik dalam merintang fenomena pengusiaan.

EFFECTS OF GEOMETRICALLY CUBICAL AGGREGATES AND AGEING ON THE ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE ACW14

ABSTRACT

Demand for aggregates as construction material increased due to the continuous development of the road building industry. Since aggregates made up of more than 90% of an asphalt mixture, aggregate properties significantly influence mix performance. Cubical aggregates used in this study were processed using the Barmac crusher compared to unevenly shaped aggregates produced from the quarries. The objective of this study is to design asphalt mixes complying with the JKR specifications for ACW14 using cubical and irregularly shaped aggregates. The effects of ageing on resilient modulus, dynamic creep and indirect tensile strength of both mixes were also studied. Two types of binder used in this study were a conventional 80/100 bitumen and a modified bitumen. From the mix properties, it was noticeable that mixes incorporating cubical aggregates exhibited improved performance compared to mixes incorporating irregularly shaped aggregates. Nevertheless, short term and long term ageing with ultra violet ray in a draft oven resulted in the increment of resilient modulus, dynamic creep and indirect tensile strength compared to un-aged mix specimens. These results also showed that the resilient modulus and dynamic creep value reduced as the temperature increased. For instance, the resilient modulus of mixes incorporating 80/100 bitumen decreased between 60.7% and 73.0% while the decrease for mixes incorporating SBS bitumen is between 62.7% and 75.6% when the test temperature increases from 25°C to 40°C. Analysis also showed that mixes incorporating modified bitumen able to resist the adverse effects of high temperature and exhibited the potential to resist ageing.

BAB I PENGENALAN

1.0 Pengenalan

Negara Malaysia merupakan sebuah negara yang sedang pesat membangun. Kemajuan yang terhasil daripada kepesatan pembangunan dan ekonomi negara telah memberikan kesan yang begitu besar dalam meningkatkan taraf sosioekonomi dan juga infrastruktur khususnya jalan dan lebuh raya. Maka selaras dengan kemajuan negara, banyak jalan serta lebuh raya sedia ada dinaiktarafkan dan pembinaan jalan baru giat dijalankan.

Sehubungan itu, penyediaan satu jaringan jalan dan lebuh raya yang berkesan akan dapat menyumbang ke arah peningkatan ekonomi dan taraf hidup penduduk di negara ini. Walau bagaimanapun, seiring dengan pembangunan negara, peningkatan kadar kemalangan jalan raya kian meruncing, bilangan kemalangan meningkat dari setahun ke setahun. Laporan kemalangan yang dikeluarkan oleh Polis Diraja Malaysia (PDRM, 2005) menunjukkan bahawa sejumlah 328,264 kemalangan jalan raya berlaku disebabkan oleh keadaan banjir, kegelinciran, jalan yang licin dan berpasir, 6,200 kes kecelakaan menyebabkan kematian dan 322,064 kes luka berat atau luka ringan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.1. Oleh itu, pemilihan jenis bahan dan turapan yang selamat dapat membantu mengurangkan kadar kemalangan jalan raya.

Jadual 1.1: Jenis Kemalangan di Jalan Raya (PDRM, 2005)

Jenis-jenis kemalangan di jalan raya			
Keadaan Permukaan Jalan	Kematian	Luka Berat/Ringan	Jumlah
Keadaan yang Kering	5,502	291,688	297,190
Kondisi Jalan Banjir	25	1,896	1,921
Permukaan Jalan Basah	580	22,440	23,020
Permukaan Jalan Berminyak	12	1,224	1,236
Permukaan Jalan Berpasir	58	2,600	2,658
Jalan Dalam Perbaikan	23	2,216	2,239
Total	6,200	322,064	328,264

Rangkaian jalan menjadi tulang belakang aktiviti ekonomi negara. Ia dijadikan mod pengangkutan manusia dan barangan melalui darat. Memahami akan kepentingan tersebut, kerajaan sentiasa berusaha merancang dan membina sistem rangkaian jalan yang terbaik. Oleh yang demikian, semenjak dari Rancangan Malaysia Pertama, kerajaan telah memperuntukkan perbelanjaan yang agak besar bagi pembangunan program infrastruktur jalan raya seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. 2.

Jadual 1.2: Peruntukan Untuk Pembangunan Jalan (1966-2005) (JKR, 2000)

Rancangan	Masa	Peruntukan Bagi Infrastruktur (RM Billion)	Peruntukan Bagi Pembangunan Jalan (RM Billion)	Peratus dari Infrastruktur (%)
Malaysia 1	1966-1970	1.550	0.400	25
Malaysia ke 2	1971-1975	3.150	0.800	25
Malaysia ke 3	1976-1980	7.000	1.550	22
Malaysia ke 4	1981-1985	9.700	4.000	41
Malaysia ke 5	1986-1990	12.100	4.600	38
Malaysia ke 6	1991-1995	14.400	6.800	47
Malaysia ke 7	1996-2000	16.100	12.400	77
Malaysia ke 8	2001-2005	18.900	14.200	75

Dalam pembinaan suatu jalan raya, struktur turapan direkabentuk untuk menanggung beban lalu lintas unjuran. Keupayaan struktur turapan untuk menanggung beban bukan hanya bergantung kepada ketebalan lapisan tetapi juga kepada kualiti bahan setiap lapisan tersebut. Namun begitu, kualiti bahan yang digunakan banyak mempengaruhi prestasi turapan di sepanjang hayat rekabentuknya. Penggunaan agregat yang berkualiti amat diperlukan di dalam pembuatan konkrit asphalt. Agregat yang berbentuk kubik akan memberikan kekuatan tambahan kepada konkrit asphalt kerana bentuknya yang tidak mudah patah apabila dikenakan daya mampatan secara berulang-ulang. Agregat berkubik juga perlu bagi partikel untuk menyusun rapat dalam mengisi ruang-ruang udara di dalam konkrit (Hudson, 1995). Bentuk agregat yang dihasilkan seperti berkubik, berkeping, memanjang dan ketaksekataan bergantung kepada faktor pemecahan dan jenis penghancur yang digunakan (Svedala, 1994).

Penghancur Barmac merupakan jenis penghancur hentaman batu ke batu yang mampu menghasilkan agregat yang berkualiti tinggi. Oleh kerana itu, kajian ini tetumpu kepada penggunaan agregat berkubik hasil dari produk mesin Barmac yang kemudiannya digunakan dalam campuran konkrit asphalt jenis ACW14. Tujuan penggunaan agregat berkubik dalam campuran konkrit asphalt adalah untuk meningkatkan kebolehlenturan dan kestabilan turapan jalan raya. Di samping itu, kajian juga dijalankan agar ciri rekabentuk campuran yang diperolehi mematuhi spesifikasi JKR yang terkandung dalam SPJ 88 (JKR, 1988). Dengan itu, satu turapan dengan ciri kebolehlenturan yang tinggi diharapkan dapat terhasil dalam jangka hayat yang panjang dan berupaya menahan pembebanan kenderaan secara berulang-ulang.

1.1 Objektif Kajian

Objektif kajian adalah seperti berikut:

- i. Mengkaji kesan agregat berkubik yang telah dihancurkan menggunakan mesin Barmac terhadap kekuatan konkrit asphalt berbanding agregat ketaksekataan.
- ii. Menentukan kandungan bitumen optimum konkrit asphalt jenis ACW14 yang menggabungkan agregat berkubik dan agregat ketaksekataan di dalam campuran bitumen SBS dan bitumen 80/100.
- iii. Menjalankan ujian lanjutan untuk menentukan prestasi campuran konkrit asphalt ACW14 daripada ujian modulus kebingkasan, ujian rayapan dinamik, dan ujian kekuatan tegangan tak langsung pada konkrit asphalt campuran agregat berkubik dan agregat ketaksekataan.
- iv. Mengkaji dan membandingkan kesan campuran konkrit asphalt ACW14 sebelum dan selepas pengusiaan dengan menjalankan ujian modulus kebingkasan, ujian rayapan dinamik dan ujian tegangan tak langsung.

1.2 Skop Kajian

Skop kajian bertumpu kepada menilai dan membandingkan kesan perubahan agregat yang dihancurkan oleh mesin Barmac dalam konkrit asphalt dari segi ciri-ciri fizikal dan mekanikal seperti kestabilan, modulus kebingkasan, rayapan dinamik dan kekuatan tegangan tak langsung. Agregat jenis granit dipilih manakala OPC digunakan sebagai bahan pengisi. Agregat jenis granit dipilih kerana ia merupakan bahan yang mempunyai kualiti yang baik dan ekonomi walaupun digunakan dalam kuantiti yang banyak. Agregat berkubik yang dikaji ini merupakan batu granit hancur terkilang yang dihasilkan oleh mesin Barmac di makmal sumber bahan, Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia. Penggredan agregat mematuhi penggredan ACW14 yang tercatat

dalam spesifikasi JKR (JKR, 1988). Bitumen yang digunakan sebagai bahan pengikat ialah bitumen konvensional 80/100 dan bitumen terpolimer SBS.

Kajian ini di bahagi kepada tiga fasa iaitu:

- 1) Fasa pertama melibatkan kajian terhadap sifat fizikal agregat kasar berdasarkan piawaian BS 812 (BSI, 2000) iaitu graviti tentu dan penyerapan air, nilai pecahan agregat (ACV), nilai hentaman agregat (AIV), indeks pemanjangan dan indeks kekepingan agregat. Nilai ini dapat digunakan untuk membandingkan sifat agregat berkubik dengan agregat ketaksekataan.
- 2) Fasa kedua menentukan kesan bahan pengikat konvensional 80/100 dan pengikat terpolimer SBS ke atas konkrit asfalt ACW14 berdasarkan beberapa ujian yang dijalankan. Ujian yang dijalankan ke atas kedua jenis pengikat ini termasuklah ujian penusukan piawai, ujian titik lembut dan ujian kemuluran. Kesemua ujian ini dilakukan berdasarkan piawaian AASHTO (AASHTO, 2002).
- 3) Fasa ketiga memfokus pengaruh kekuatan agregat berkubik yang dihancurkan secara mampatan berbanding agregat ketaksekataan di dalam campuran konkrit asfalt jenis ACW 14. Sifat yang dikaji adalah kekuatan rayapan dinamik, modulus kebingkasan, kekuatan tegangan tak langsung dan pengusiaan.

1.3 Justifikasi Kajian

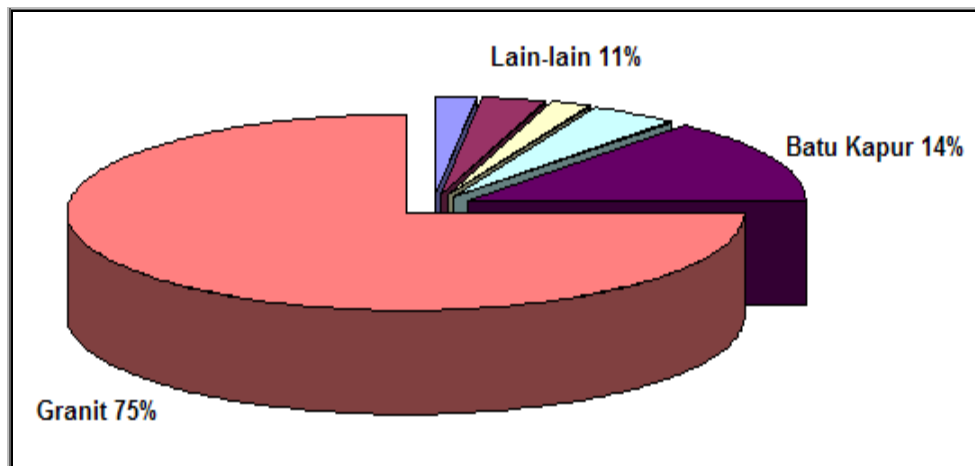
Dalam pembinaan jalan dan lebuh raya, kualiti bahan turapan sentiasa diutamakan untuk mengurangkan kos penyenggaraan, melanjutkan hayat reka bentuk dan meningkatkan tahap perkhidmatan. Turapan yang tidak berkualiti boleh menyebabkan pelbagai masalah permukaan seperti ubah bentuk kekal serta kebolehlenturan yang rendah lalu menyebabkan masalah peretakan. Ketahananlasakan yang rendah pula mengakibatkan masalah pelucutan dan pengkawahan yang dapat

menjejaskan keselesaan dan keselamatan pengguna jalan raya. Sebab utama kajian ini dijalankan adalah untuk meningkatkan mutu konkrit asphalt lebih tinggi yang diharapkan dapat terhasil untuk melanjutkan jangka hayat turapan. Kajian ini mungkin mendatangkan beberapa kebaikan seperti berikut:

1. Meningkatkan kualiti bahan yang digunakan dalam konkrit asphalt iaitu daripada agregat asal kepada agregat berkubik.
2. Mengurangkan kandungan bitumen optimum dalam konkrit asphalt campuran agregat berkubik kerana ianya mempunyai ikatan yang saling mengikat diantara agregat tersebut.
3. Meningkatkan kestabilan serta prestasi campuran lalu melanjutkan usia turapan.

1.4 Latar Belakang Agregat di Malaysia

Laporan penghasilan agregat di Malaysia yang dikeluarkan oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia dalam tahun 2000 ditunjukkan dalam Rajah 1.1. Sebanyak 13 jenis batuan telah dihasilkan daripada 315 kuari. Kebanyakan kuari tersebut menghasilkan batuan jenis granit dan batu kapur. Jumlah agregat yang telah dihasilkan pada tahun 2000 adalah sebanyak 72.5 juta tan yang melibatkan kos RM899.5 juta. 74% daripada kuantiti tersebut (161 kuari) adalah granit dan 14% adalah batu kapur (78 kuari).



Rajah 1.1: Agregat yang dihasilkan di Malaysia (Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, 2000)

Pengeluaran agregat jenis granit adalah yang tertinggi jika dibandingkan dengan jenis bahan yang lain. Hal ini disebabkan batuan granit adalah bahan yang utama digunakan dalam pembinaan jalan raya di Malaysia.

1.5 Konkrit Asfalt

Pembinaan turapan jalan raya seringkali mengalami kegagalan sebelum hayat reka bentuknya dicapai. Keadaan ini berlaku bukan sahaja disebabkan oleh pertambahan isipadu lalulintas serta kesan cuaca, tetapi oleh kaedah binaan yang tidak sempurna dan penghasilan kualiti bahan campuran asfalt yang rendah. Jika keadaan ini berterusan maka kos penyenggaraan akan meningkat.

Kajian yang dilakukan ke atas pelbagai jenis agregat serta kesannya ke atas campuran konkrit asfalt kerap kali dijalankan untuk meningkat mutu bahan dan mencari alternatif kepada bahan yang sedia ada. Dalam kajian ini, agregat berkubik yang dihasilkan melalui kaedah penghancur Barmac digunakan untuk menghasilkan campuran konkrit asfalt yang bermutu tinggi. Pelbagai ujian makmal dilakukan ke atas campuran ini untuk menilai peningkatan prestasinya berbanding campuran biasa dan membandingkannya dengan keperluan spesifikasi JKR.

1.6 Mesin Penghancur Barmac

Bagi menghasilkan bancuhan asphalt yang berkekuatan tinggi, zarah agregat yang digunakan sepatutnya mempunyai sifat yang baik serta bermutu tinggi dari segi kekuatan, ketahananlasakan dan keupayaan saling kunci dengan zarah lain. Dalam menghasilkan agregat hancur yang berkualiti dan terbaik, beberapa aspek penting perlulah diberi perhatian yang khusus. Aspek ini termasuklah mekanisme penghancuran, saiz suapan, jenis suapan, kadar suapan dan jenis produk yang ingin dihasilkan. Menurut Abdullah (1999), mesin penghancur mestilah direkabentuk berpandukan tugas penghancur itu sebagaimana yang perlu dilakukan oleh penghancur tersebut, dan perubahan akan berlaku apabila saiz suapan menjadi semakin kecil. Kajian oleh Abdullah (1999) juga mendapati terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi bentuk produk yang dihasilkan seperti faktor semulajadi batuan, faktor mekanikal mesin, serta beberapa faktor dalaman yang lain.

Menurut Svedala (1994), mesin penghancur Barmac adalah sebuah mesin penghancur batuan yang beroperasi berasaskan prinsip hentaman, iaitu hentaman batu ke batu, yang berpotensi untuk menghasilkan produk yang berkualiti dari segi bentuk dan saiz. Penghancur Barmac jenis RoR VSI (*Rock Vertikal Shaft Impactor*) yang digunakan ini didapati dapat menghasilkan agregat yang lebih berbentuk kubik dengan mengawal had laju rotor penghancur tersebut. Menurut Bartley (1998), prinsip penghancuran hentaman batu ke batu bertegangan tinggi, yang disebabkan geseran antara batu dan lapisan batuan dengan pemecutan yang tinggi seperti penghancur Barmac terbukti berupaya menghasilkan produk yang lebih berbentuk kubik.

1.7 Organisasi Tesis

Dalam kajian ini, perancangan kerja yang dilakukan adalah seperti berikut:

- ❖ Bab I (Pengenalan), menghuraikan penggunaan agregat berkubik dalam konkrit asphalt jenis ACW14, objektif kajian, skop kajian, justifikasi kajian, latar belakang agregat di Malaysia, kualiti bahan dalam konkrit asphalt, dan penggunaan mesin Barmac dalam menghasilkan agregat berkubik.
- ❖ Bab II (Kajian Literatur), menjelaskan mekanisme kajian dan keputusan yang telah dilakukan oleh penyelidik terdahulu, memaparkan ciri dan sifat bitumen serta agregat.
- ❖ Bab III (Bahan dan Metodologi Kajian), menerangkan pelbagai bahan yang digunapakai dalam kajian dan jenis ujian terhadapnya, seperti mekanisme penghancuran, ujian terhadap agregat dan ujian terhadap bitumen.
- ❖ Bab IV (Penyediaan Spesimen dan Peralatan), memfokus kepada metodologi kajian yang melibatkan penyediaan spesimen dan ujian makmal. Misalnya kaedah pencampuran dan pemadatan, ujian kestabilan, ujian modulus kebingkasan, ujian rayapan dinamik, ujian kekuatan tegangan tak langsung dan kaedah pengusiaan.
- ❖ Bab V (Ciri Bahan dan Reka Bentuk Campuran), membincangkan keputusan kajian terhadap bahan dan reka bentuk campuran konkrit asphalt ACW14 serta membandingkan hasilnya dengan spesifikasi JKR 1988.
- ❖ Bab VI (Analisis Keputusan dan Perbincangan), mempersembahkan analisis keputusan antara ciri campuran bitumen 80/100 dengan campuran bitumen terpinda SBS, membandingkan hasil campuran agregat berkubik dengan agregat ketaksekataan, menentukan kesan proses pengusiaan terhadap ciri kejuruteraan konkrit asphalt yang kemudiannya dibandingkan dengan keputusan kajian yang lain.
- ❖ Bab VII (Kesimpulan dan Cadangan), membentangkan satu kesimpulan daripada hasil kajian dan menetapkan cadangan kajian untuk masa hadapan.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

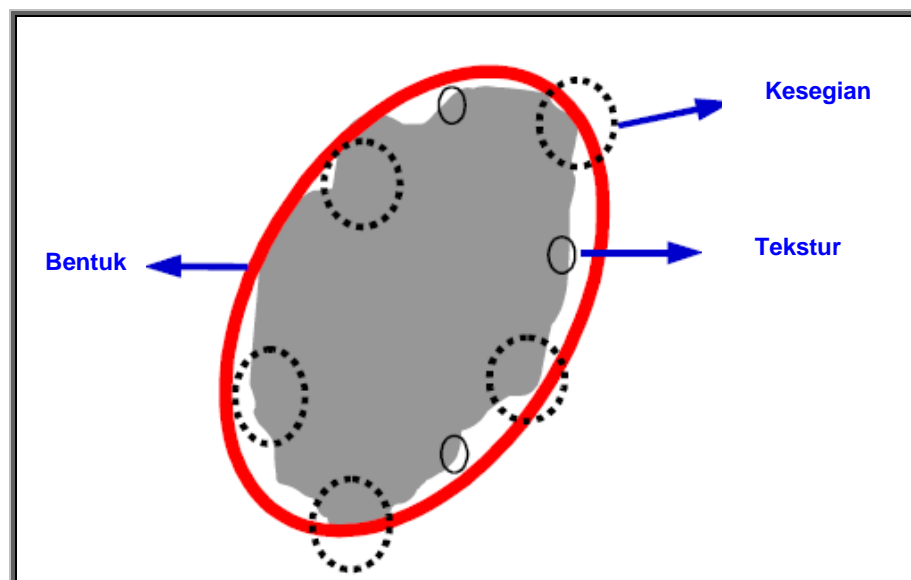
2.0 Pengenalan

Pembinaan jalan raya merupakan sektor yang penting dalam ekonomi Malaysia dan bergantung tinggi kepada sektor agregatnya. Agregat terkenal sebagai “Cinderella” dalam dunia perlombongan dan sejak beberapa tahun ini telah membangun sebagai satu industri galian yang besar dalam dunia yang sedang pesat membangun (Smith dan Collis, 1993). Permintaan terhadap agregat untuk pembinaan jalan raya semakin meningkat. Ciri-ciri agregat sangat penting kepada kelakuan turapan konkrit asphalt dalam pembinaan jalan raya. Kandhal dan Mallick (1997) menyatakan bahawa kegagalan turapan seperti ubah bentuk kekal, perlucutan, penghancuran permukaan, dan rintangan geseran permukaan yang tidak mencukupi, boleh disebabkan oleh pemilihan dan penggunaan agregat yang tidak sesuai. Bantha et al. (2003) pula menyebut kekuatan dan ketahananlasakan turapan konkrit asphalt dipengaruhi oleh ciri-ciri bahan utamanya iaitu agregat.

Agregat berkualiti tinggi seperti yang berbentuk berkubik dan tekstur permukaan yang lebih baik telah dibuktikan sebagai suatu unsur yang penting dalam campuran konkrit asphalt. Chowdhury et al. (2001) melaporkan bahawa apabila beban dikenakan kepada agregat dalam campuran konkrit asphalt, maka permukaan kasar partikel agregat saling mengunci diantara satu sama lain dan berfungsi sebagai satu jisim utama dan elastik, dan seterusnya meningkatkan kekuatan ricih. Bentuk partikel campuran asphalt dan tekstur permukaan agregat adalah penting untuk mendapatkan pemadatan yang sempurna, meningkatkan rintangan beban ulangan dan keboleherjaan yang tinggi. Secara amnya, agregat berkubik dan bersudut dengan tekstur permukaan yang kasar adalah yang terbaik. Bitumen bertindak sebagai bahan

pengikat yang melekatkan campuran bersama, tetapi agregat daripada isipadu pukal campuran membekalkan sebahagian besar daripada kekuatan sesuatu campuran.

Partikel agregat boleh dibahagi dalam tiga bentuk iaitu: berkubik, kesegian dan agregat berbentuk bulat (Barret, 1980). Tiga ciri agregat ini seluruhnya menyifatkan agregat bergeometri. Ciri dari bentuk partikel agregat boleh di ukur berdasarkan nisbah dimensinya. Pengukuran kesegian agregat berdasarkan perubahan sudutnya. Pengukuran ini menjelaskan tentang partikel dalam suatu julat dari agregat bulat kepada agregat bersegi. Ciri terakhir ialah tekstur permukaan, ciri ini menjelaskan tentang kekasaran permukaan agregat dalam skala kecil, bermaksud agregat tersebut tidak dipengaruhi oleh perubahan yang disebabkan oleh kesegiaan agregat. Tiga ciri tersebut mempengaruhi antara satu sama lain; peningkatan atau penurunan dalam salah satu ciri ini tidak semestinya mempengaruhi dua ciri lagi (Al-Rousan, 2004). Perbezaan diantara ketiga-tiga ciri ini seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Komponen Agregat Berbentuk; Bentuk, Kesegian dan Tekstur (Masad et al. 2003)

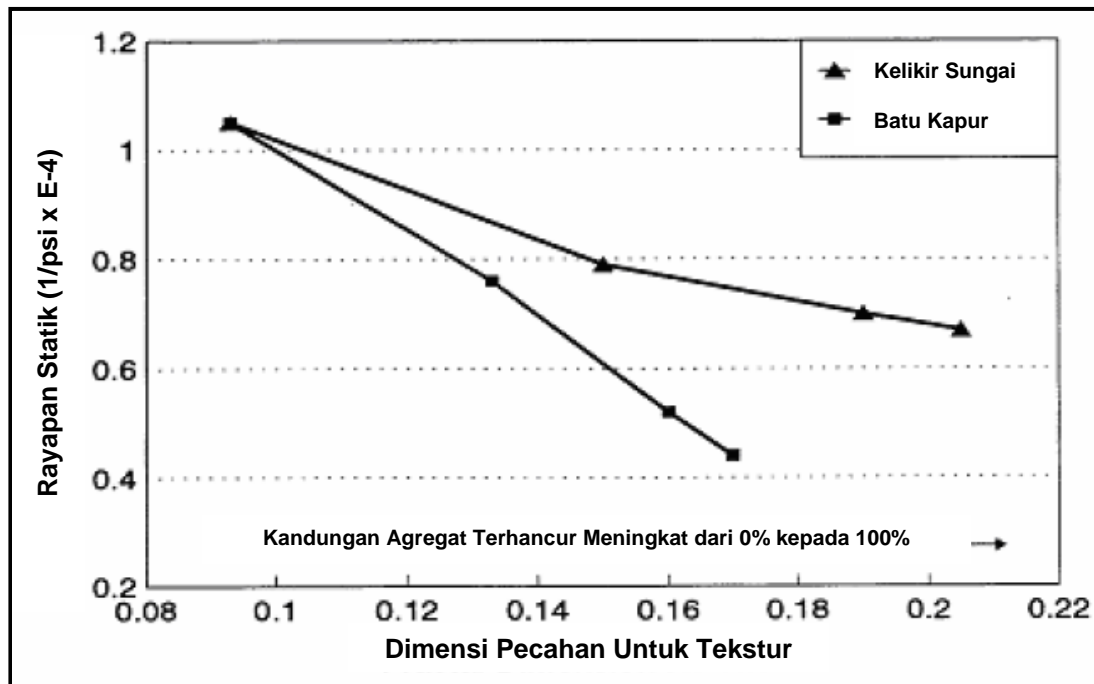
2.1 Kesan Agregat Berkubik Dalam Konkrit Asfalt

Konkrit asfalt mengandungi kira-kira 95% mineral agregat daripada segi beratnya. Agregat mineral terdiri daripada kandungan agregat kasar yang tinggi. Kajian telah menunjukkan bahawa ciri-ciri agregat seperti saiz partikel, bentuk, dan tekstur mempengaruhi prestasi dan keupayaan perkhidmatan konkrit asfalt (Brown et al., 1989; Kandhal et al., 1992; Kim et al., 1992). Agregat yang rata dan memanjang cenderung untuk patah semasa proses pencampuran, pemadatan, dan dibawah beban lalu lintas yang tinggi. Oleh itu, agregat berkubik adalah salah satu ciri penting yang mesti diambil kira dalam reka bentuk campuran konkrit asfalt untuk mengelakkan kegagalan turapan.

Kesan agregat berkubik dan saiz agregat ke atas kekukuhan dan tindakbalas kelesuan campuran konkrit asfalt telah diuji oleh Monismith (1970) menyatakan bahawa kekukuhan dan tindakbalas kelesuan campuran konkrit asfalt dipengaruhi oleh ciri-ciri agregat tersebut. Penggunaan agregat bertekstur kasar dalam pengredan tumpat untuk meningkatkan kekukuhan campuran dan hayat lesu konkrit asfalt. Untuk turapan nipis, dicadangkan penggunaan agregat bertekstur licin untuk menghasilkan kekukuhan yang kurang dan peningkatan hayat lesu.

Foster (1970) membandingkan rintangan campuran konkrit asfalt bergred tumpat yang mengandungi agregat kasar terhancur dan agregat tak dihancurkan terhadap beban lalu lintas yang menyimpulkan bahawa konkrit asfalt campuran agregat kasar terhancur menunjukkan prestasi yang lebih baik berbanding konkrit asfalt campuran agregat tak terhancur dalam merintang tegasan lalu lintas teraruh. Shklarsky dan Livneh (1964) menyimpulkan bahawa agregat kasar terhancur boleh meningkatkan ciri konkrit asfalt dengan sangat ketara. Manakala Krutz dan Sebaaly (1993) mendapati bahawa terdapat hubungan langsung diantara campuran konkrit asfalt dengan agregat kasar yang berkubik.

Yeggoni et al. (1996) membandingkan indeks tekstur agregat yang dihasilkan dengan pemrosesan bayangan (DIP) terhadap kekukuhan rayapan konkrit asphalt. Kajiannya menggunakan tujuh agregat yang berlainan dengan kadar agregat terhancur berbeza-beza. Kesimpulan yang didapati bahawa terdapat hubungan yang jelas antara dimensi agregat dengan rayapan statik seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Hubungan Antara Agregat Kasar Terhancur Dengan Kekukuhan Konkrit Asphalt (Yeggoni et al. 1996)

Li dan Kett (1967) menyimpulkan bahawa agregat yang rata dan memanjang tidak memberi kesan yang baik terhadap kekuatan konkrit asphalt. Namun begitu, konkrit asphalt yang dicampurkan dengan agregat berkeping didapati mampu meningkatkan hayat lesu lebih tinggi berbanding dengan konkrit asphalt yang dicampurkan agregat tidak berkeping. Dalam kajian lain yang dilakukan oleh Oduroh et al. (2000) menunjukkan bahawa peratusan agregat kasar terhancur mempunyai kesan yang ketara ke atas ciri-ciri ubah bentuk suatu campuran. Semakin berkurang peratusan agregat kasar terhancur, makin meningkat peretakan campuran terjadi. Manakala

Huber dan Heiman (1987) mendapati bahawa agregat terhancur yang mengandungi 19% agregat rata dan memanjang memberikan kesan secara songsang terhadap ciri-ciri isipadu konkrit asphalt. Dari kesimpulan yang dibentangkan oleh beberapa pengkaji seperti di atas dapat disimpulkan bahawa agregat terhancur di dalam campuran boleh meningkatkan ciri-ciri kejuruteraan konkrit asphalt.

Stephens dan Sinha (1978) membincangkan data tentang kesan penggunaan agregat berkubik di dalam campuran konkrit asphalt, untuk mencapai kekuatan campuran yang optimum, agregat bulat dan bersegi diperlukan. Kajian Kalcheff dan Tunncliffe (1982) turut serta membincangkan kesan agregat terhancur, saiz agregat dan bentuk agregat di dalam campuran konkrit asphalt. Kandungan bitumen boleh dikurangkan dengan meningkatkan kandungan agregat terhancur dalam suatu campuran.

Agregat merupakan bahagian terbesar dalam sebuah struktur turapan konkrit asphalt. Menurut Kuo et al. (1998) dan Maerz (2004), ciri-ciri kejuruteraan agregat seperti agregat berkubik dan bersudut serta bertekstur kasar telah banyak mempengaruhi kekuatan keseluruhan turapan konkrit asphalt. Beberapa penyelidik lain telah melaporkan bahawa bentuk dan tekstur permukaan agregat memberikan kesan yang penting kepada sifat mekanikal campuran berbitumen; contohnya, rintangan ricih, ketahananlasakan, kekukuhan, rintangan kelesuan, rintangan kesan tayar, kebolehterkerjaan dan lain-lain (Herrin dan Goetz, 1954; Benson, 1970; Ishai dan Gelber, 1982; Kalcheff dan Tunncliffe, 1982; Janoo, 1998; Odurroh et al., 2000; Masad et al., 2001).

Agregat berkubik telah diketahui dapat mempengaruhi kekuatan campuran konkrit asphalt dan hasil kajian menunjukkan kesan yang positif pada campuran konkrit asphalt. Sudut dan tekstur boleh mengawal sifat geseran dan pengembangan struktur

agregat. Fletcher et al. (2002) menyatakan bahawa untuk merekabentuk konkrit asphalt yang baik diperlukan pengembangan kaedah yang dapat menjumlahkan dengan cepat dan tepat ciri-ciri bentuk agregat yang berlainan dan yang paling penting adalah menghubungkan ciri-ciri tersebut dengan kelakuannya. McGennis et al. (1995) melaporkan agregat berkubik mempunyai kesan yang besar terhadap kekuatan konkrit asphalt. Kewujudan agregat yang nipis dan panjang adalah tidak diingini dalam campuran konkrit asphalt. Agregat seperti ini cenderung untuk menghasilkan ciri kebingkasan yang rendah dalam campuran, lebih mudah dipengaruhi oleh ubah bentuk kekal, dan kegagalan semasa pembinaan.

Banyak kajian telah menekankan peranan agregat berkubik dalam mengawal kelakuan campuran konkrit asphalt terutama sekali kelakuan rintangan terhadap peretakan lesu dan ubah bentuk kekal. Ubah bentuk kekal yang berlaku dalam turapan campuran berbitumen telah meningkat sebelum mencapai hayat reka bentuknya, manakala kajian menunjukkan bahawa campuran konkrit asphalt dipengaruhi oleh sifat agregat (Kalcheff dan Tunnicliff, 1982; Monismith, 1970; dan Kandhal dan Parker, 1998). Penyelidik-penyelidik ini telah menjalankan ujian yang memberi fokus pada pengaruh agregat halus, agregat kasar dan kesan gabungan agregat kasar dan halus ke atas campuran konkrit asphalt.

2.2 Hubungan Antara F&E dan Prestasi Campuran

Huber et al. (1998) menilai kesan agregat berkeping dan memanjang (F&E) ke atas ciri-ciri isipadu campuran Superpave 19.0 NMA. Agregat kasar dihasilkan daripada batu hancur. Agregat tersebut dihancurkan dengan mesin penghancur hentaman aci menegak (VSI) atau Barmac dan penghancur kon. Penghancuran batu dengan Barmac cenderung untuk menghasilkan F&E yang melebihi nisbah 5:1, dengan peratusan agregat yang dihasilkan sebanyak 9.0% dan penghancur kon

menghasilkan 19.4% iaitu melebihi nisbah 3:1. Campuran konkrit asphalt dihasilkan daripada kedua-dua penghancur agregat tersebut. Setiap campuran menggunakan pemadat Gyratory untuk menentukan kandungan bitumen. Berdasarkan keputusan dari spesimen ketumpatan, pengkaji ini menyimpulkan bahawa F&E yang melebihi 3:1 tidak secara negatif memberikan kesan kepada ciri-ciri isipadu.

Brown et al. (1998) menilai kesan lima tahap F&E ke atas ciri-ciri isipadu, kegagalan agregat, dan keterentanan lembapan campuran asphalt mamah (SMA). Agregat batu kapur dari Arkansas dihancurkan untuk penyediaan F&E yang berbeza. F&E berbeza-beza dari 67 hingga 38% untuk nisbah 2:1, 25 hingga 3 untuk nisbah 3:1 dan 1 hingga 0 untuk nisbah 5:1. SMA dihasilkan dari kedua-dua agregat dengan peratus perbandingan campuran agregat adalah 75/25, 50/50 dan 25/75. Dari kajian tersebut terdapat pertambahan VMA dengan peningkatan peratusan F&E. VMA bertambah 1.2% daripada agregat berkubik. Daripada ujian pengredan menunjukkan peningkatan yang ketara ke atas saiz ayak 4.75mm untuk F&E yang lebih tinggi.

Buchanan (2000) menilai kesan enam tahap F&E daripada dua sumber agregat ke atas ciri-ciri isipadu dan prestasi kelesuan satu rekabentuk campuran Superpave NMAAS 12.5 mm. Enam tahap F&E mengandungi agregat yang dihasilkan dari batu kapur dan batuan granit serta setiap agregat yang dihancurkan dengan dua kelajuan rotor yang berbeza dalam satu skala penghancur hentaman aci menegak (VSI). Peratus adunan F&E dan ciri-ciri isipadu yang dihasilkan adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.1.

Jadual 2.1: Nisbah F&E dan Keputusan Ciri-Ciri Campuran (Buchanan, 2000)

Jenis Agregat	Nisbah F&E			OBC (%)	VMA (%)
	2:1	3:1	5:1		
Limestone As-Received	69.2	29.5	3.8	4.2	13.7
Limestone @ 55 m/s	58.6	21.8	0.2	4.5	13.9
Limestone @ 65 m/s	72.0	16.2	3.7	4.2	13.7
Granite As-Received	85.4	57.0	23.0	5.0	14.2
Granite @ 45 m/s	42.9	14.4	0.4	4.6	13.4
Granite @ 68 m/s	35.1	2.1	0.1	4.5	13.4

2.3 Ciri Rekabentuk Campuran

2.3.1 Penggredan

Agregat berkubik telah banyak digunakan dalam pembinaan konkrit asflat, kebanyakan agregat tersebut dihasilkan menggunakan mesin penghancur batu ke batu atau Barmac. Dijangkakan bahawa agregat yang mempunyai bentuk yang baik dengan tekstur permukaan yang lebih baik di dalam turapan akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi. Selain itu mengurangkan tegangan dalaman yang menyebabkan kegagalan lesu turapan. Sifat utama agregat yang digunakan untuk asas dan permukaan lebuhraya ialah pengagihan saiz partikel dalam campuran agregat. Penggredan agregat melambangkan pecahan campuran partikel pelbagai saiz dalam sesuatu campuran dan mempengaruhi ketumpatan, kekuatan dan ekonomi struktur turapan (Wright, 1996).

Menurut Banta et al. (2003), penggredan agregat mempunyai kesan yang besar terhadap kekuatan matriks yang terhasil. Bagi turapan jalan raya, agregat perlulah kuat dari segi mekanikal, rintangan terhadap kelesuan dan mempunyai bentuk

yang baik secara fizikal. Bentuk yang paling diingini ialah yang berkubik dan juga yang memiliki tekstur permukaan yang kasar. Untuk mendapatkan kekuatan campuran yang tinggi, agregat kasar seharusnya memiliki bentuk yang berkubik dan tidak berkeping dan panjang (Lay, 1986). Kuantiti agregat yang berkeping dan memanjang di dalam sesuatu campuran haruslah tidak berlebihan (Wright, 1996). Untuk mendapatkan kesemua kriteria ini, bentuk agregat hendaklah dioptimumkan melalui kaedah penghancuran agregat yang sesuai.

2.4 Ciri dan Sifat Agregat

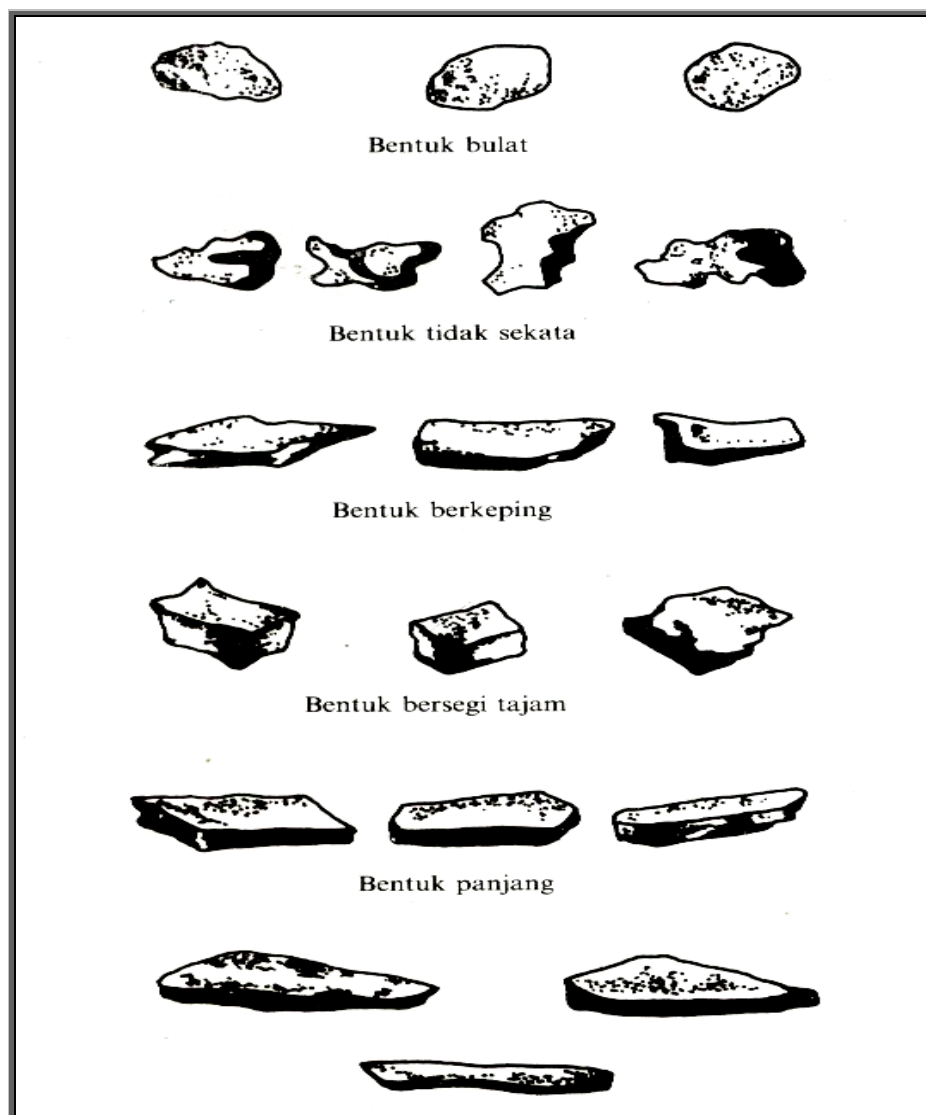
2.4.1 Kekuatan dan Ketahananlasakan Agregat

Dalam penghasilan agregat, kekuatan agregat perlu ditentukan sebelum agregat digunakan untuk menghasilkan konkrit asphalt. Kekuatan agregat adalah penting kerana ia menunjukkan ketahanan agregat terhadap daya luaran. Kekuatan agregat diukur dari ujian AIV dan ACV. Ketahananlasakan ditakrifkan sebagai ketahanan agregat menghalang kegagalan sebagai akibat beban kenaan. Oleh sebab itu, batu granit yang dihasilkan daripada penghancuran dengan mesin Barmac boleh menghasilkan kekuatan yang lebih berbanding batu granit yang tidak dihancurkan dengan Barmac dan juga batu granit boleh menghasilkan konkrit asphalt yang lebih kuat berbanding jenis batuan lain sebagai agregat turapan.

2.4.2 Bentuk Butiran Agregat

Bentuk agregat merujuk kepada ciri geometri seperti bulat, bersegi, berkeping atau panjang. Agregat yang berbentuk bulat, tidak sekata, berkeping, bersudut, berkubik dan bentuk lain menghasilkan campuran asphalt yang berlainan mutunya. Agregat yang dihasilkan oleh tindakan luluhawa dan geseran akan berbentuk bulat kerana kehilangan sisi serta bucunya. Agregat terhancur pula mempunyai bucu dan sisi yang jelas iaitu bersegi. Batu baur, batu pasir dan syil kerap menghasilkan agregat yang

panjang dan lebar. Menurut BS 812: Bahagian 2. 1975. (1990), agregat yang leper adalah apabila ketebalan (dimensi terkecil) partikel adalah kurang daripada 4.9 mm bagi pecahan saiz paling minimum iaitu $-10 + 6.3$ mm dengan ketebalannya lebih kecil berbanding kedua-dua dimensinya yang lain. Agregat memanjang pula adalah apabila panjang (dimensi terpanjang) partikel melebihi 14.7 mm bagi pecahan saiz paling minimum iaitu $-10 + 6.3$ mm. Contoh bentuk agregat yang lazim terdapat dalam campuran diperlihatkan di dalam Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Agregat Berbagai Bentuk Menurut BS 812: Part 2. 1975 (BSI, 1990)

Pelbagai kaedah dan istilah telah diperkenalkan untuk mendefinisikan bentuk agregat kasar. Satu kaedah yang dibangunkan daripada pemprosesan bayangan digital (DIP) adalah dilakukan untuk mencirikan dan mendefinisikan secara automatik jenis-jenis agregat berbentuk. Jadual 2.2 menunjukkan pelbagai bentuk agregat yang dihasilkan dari DIP.

Jadual 2.2: Takrifan Agregat Berbentuk Berdasarkan Pemprosesan Bayangan Digit (DIP)

Parameter	Takrifan	Rujukan
Pemanjangan	$Panjang / Lebar$	Kuo et al. (1998)
Kerataan	$Lebar / Tebal$	Kuo et al. (1998)
Berkeping	$Tebal / Ukur Lebar$	Barksdale et al. (1991)
Kesfera	$\sqrt[3]{Tebal \times Lebar / Panjang^2}$	Barksdale et al. (1991)
Faktor Bentuk	$Tebal / \sqrt{Panjang \times Lebar}$	Barksdale et al. (1991), Yue et al. (1995), Kuo et al. (1996)
Faktor Bentuk	$4\pi \times Luas / Keliling^2$	Kuo et al. (1998)
Kekasaran	$Keliling / \pi \times Purata Garis Pusat$	Kuo et al. (1998)
Nisbah Kecembungan	$Luas Terunjur / Luas Cembung$	Mora dan Kwan (2000)
Nisbah Kepenuhan	$\sqrt{Nisbah Cembung}$	Mora dan Kwan (2000)

2.4.3 Ciri Fizikal Agregat

Ciri fizikal agregat juga mempengaruhi ciri campuran asfalt yang dihasilkan. Di antara sifat-sifat tersebut adalah graviti tentu dan penyerapan air, indeks kekepingan, indeks pemanjangan dan penghancuran agregat. Ciri agregat berdasarkan saranan spesifikasi JKR 1988 (JKR, 1988) diperlihatkan di dalam Jadual 2.3.

Jadual 2.3: Ciri-ciri Agregat Menurut JKR (JKR, 1988)

Ciri	Saranan JKR 1988
Indeks Pemanjangan	Tidak Melebihi 30%
Indeks Kekepingan	Tidak Melebihi 25%
Penyerapan Air	Tidak Melebihi 2.0%
Penghancuran Agregat	Tidak Melebihi 30%

2.5 Bahan Pengikat dan Cirinya

Bitumen adalah bahan pengikat yang paling meluas digunakan dalam pembinaan turapan jalan raya. Bahan pengikat yang ideal ialah yang dapat meningkatkan kekukuhan pada suhu tinggi supaya ia dapat merintang ubah bentuk kekal turapan. Selain itu, ia juga harus fleksibel pada suhu yang rendah supaya dapat merintang kegagalan lesu. Sifat yang terdapat pada bitumen adalah pada suhu biasa, bitumen mempunyai sifat separa pepejal, apabila suhu dinaikkan bitumen akan melembut secara perlahan-lahan.

Sekiranya suhu di turunkan kembali pada suhu biasa, bitumen akan mengeras kembali kepada sifat asalnya. Masalah utama pada suhu rendah ialah bitumen boleh menjadi terlalu rapuh dan meretak apabila dikenakan ulangan beban yang berlebihan (Asphalt Institute, 1993a). Mutu dan ciri-ciri yang ada pada bahan berbitumen perlu dikawal dengan rapi supaya turapan berbitumen yang hendak dihasilkan mempunyai mutu yang baik. Kawalan ini boleh dibuat melalui ujian dan spesifikasi yang tertentu. Jadual 2.4 menunjukkan spesifikasi JKR untuk bahan berbitumen.

Jadual 2.4: Spesifikasi Bahan Berbitumen Menurut JKR (JKR, 1988)

Ciri-Ciri	Gred Penusukan	
	60/70	80/100
Penusukan Pada 25°C	60-80	80-100
Titik Kilat (°C)	Tidak Kurang 250	Tidak Kurang 225
Kemuluran pada 25°C	Tidak Kurang 100	Tidak Kurang 100
Titik Lembut (°C)	Tidak Kurang 48 dan Tidak Lebih 56	Tidak Kurang 45 dan Tidak Lebih 52

2.5.1 Pengikat Terpinda (SBS) Dalam Konkrit Asfalt

Campuran yang menggunakan bitumen terpinda SBS mempamerkan rintangan yang lebih besar terhadap penanggalan dan retakan serta mengurangkan kerosakan kelesuan, penggelupasan dan pengaruh suhu. Pengikat ini telah digunakan dan menunjukkan prestasi yang baik di kawasan bertegasan tinggi, seperti jalan raya yang menampung isipadu lalu lintas yang tinggi, landasan kapal terbang, stesen penimbang kenderaan dan trek pelumbaan. Sifat-sifat yang diinginkan daripada pengikat terpinda ini termasuklah sifat elastik yang lebih baik, titik lembut yang lebih tinggi, lebih likat, kekuatan jeleketan yang lebih baik dan lebih mulur.

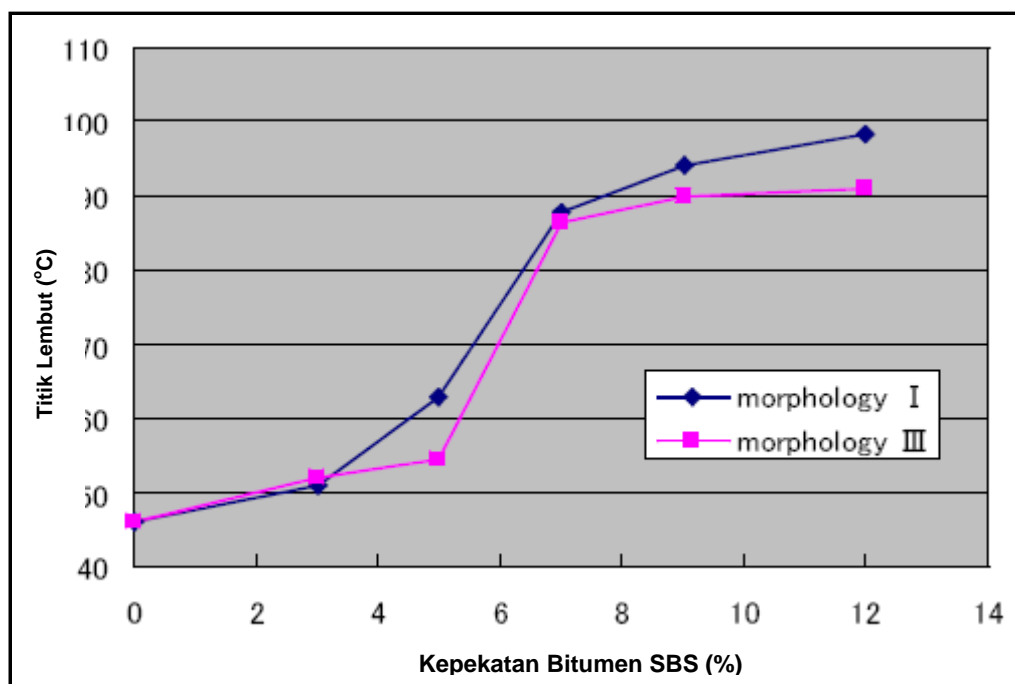
(<http://www.highwaysmaintenance.com/polybitxt.htm>).

Bahan pengikat SBS bertindak sebagai gam yang mengekalkan struktur turapan pada keadaan asal apabila dibebani dengan beban kenderaan berat dan juga mampu meningkatkan ketahananlasakan dan rintangan yang disebabkan oleh hubungan saling tindak antara agregat dengan bitumen.

(http://apwa.americancityandcounty.com/ar/government_opengraded_mixes_better/).

Menurut Becker et al. (2001), SBS ialah satu blok copolimer yang meningkatkan sifat elastik sesuatu bitumen. SBS boleh menjadi pengikat yang paling sesuai dalam pengubahsuaian asfalt. Walaupun sifat kelenturan pada suhu rendah boleh ditingkatkan, beberapa penulis telah menuntut bahawa pengurangan dalam kekuatan dan rintangan kepada penusukan diperhatikan pada suhu tinggi. SBS ialah polimer yang paling banyak digunakan dalam pengubahsuaian asfalt, diikuti oleh getah tayar.

Terdapat penemuan yang menghubungkan antara titik lembut bitumen dengan bahan pengikat terubahsua. Tinjauan yang dijalankan oleh Hanyu et al. (2005) melaporkan bahawa titik lembut bitumen SBS meningkat dengan peningkatan kandungan bitumen SBS. Kandungan bitumen SBS kurang dari 7%, titik lembut yang dihasilkan berada diantara 48°C hingga 55 °C manakala kandungan di atas 7%, titik lembut yang dicatatkan sebanyak 92°C. Rajah 2.4 menunjukkan hubungan titik lembut bitumen dengan kandungan bitumen terubahsua.



Rajah 2.4: Kandungan SBS Melawan Titik Lembut (Hanyu et al., 2005)

Terdapat banyak kajian yang dijalankan untuk mengaitkan hubungan antara sifat pengikat dan sifat campuran. Satu kajian yang dijalankan oleh Choyce (1989), Khosla dan Zahran (1989) menunjukkan penambahan polimer terutamanya SBS, kepada bitumen dapat meningkatkan rintangan kepada ubah bentuk kekal bagi campuran asphalt. Bahan pengikat terpinada SBS menunjukkan kesan yang positif sebagai akibat kemusnahan lembapan (Beecken, (1992), Chuan, (1998)). Menurut kajian Nevada (2003), kejeleketan bitumen SBS adalah lebih tinggi berbanding bitumen biasa pada suhu 60°C, walaupun penusukan berubah sepenuhnya pada semua suhu (Sebaaly et al. 2003).

Partl et al. (2003) dalam kajiannya tentang penggunaan bahan pengikat yang menjimatkan ekonomi menyatakan bahawa bitumen terubahsuai di dalam campuran didapati mampu merintang pelbagai jenis tegasan seperti penanggalan, kelesuan, retakan suhu, dan kerosakan oleh air. Penyelidik ini juga menemukan bahawa pemilihan bitumen SBS dalam campuran boleh memberi kesan terhadap sifat kelesuan sehingga mempunyai hayat yang lebih tinggi.

2.6 Sifat Mekanikal Konkrit Asphalt

2.6.1 Kesan Agregat Berkubik Terhadap Kestabilan Marshall

Rekabentuk campuran kaedah Marshall merupakan kaedah yang paling popular dan umum. Kaedah ini telah dibangunkan oleh jurutera bernama Bruce Marshall. Tatacara yang telah dibentuk ini kemudiannya dipertingkatkan oleh *US Corps of Engineers* dan akhirnya telah dijadikan sebagai rekabentuk campuran. Kaedah Marshall juga telah digunakan untuk mereka bentuk dan mengawal konkrit asphalt yang digunakan secara meluas pada permukaan jalan. Konkrit asphalt telah menjadi terminologi yang umum untuk mana-mana campuran berbitumen dengan agregat